

軟磁性薄帯材料の時間分解ベクトル磁区観察

小笠原 剛、田丸 慎吾、岡本 聡*

(産業技術総合研究所、*東北大学)

Time-resolved vector domain observation of soft magnetic ribbons

Takeshi Ogasawara, Shingo Tamaru, Satoshi Okamoto*

(AIST, *Tohoku Univ.)

電源回路やモーターの性能向上のために、軟磁性材料の低損失化・高速化が求められている。ベクトル場としての磁区の運動は磁化の応答や損失の発生に直接関係しているため、これを観察することは材料やデバイスの開発においても重要であるが、これまで技術的な困難から動的なベクトル磁区観察はあまりおこなわれてこなかった。今回、磁気光学顕微鏡にパルス半導体レーザー光源を組み合わせることによって、ベクトル磁区の運動を比較的容易に観察可能となったので報告する。

本研究で用いた磁気光学顕微鏡は独自開発の技術により、従来より高空間分解能であり、磁化をベクトル観察可能となっている[1]。時間分解観察にはストロボスコープ法を用い、光源としてパルス半導体レーザーを用いることにより繰返しとパルス幅を任意に設定可能となり、dc から 10 GHz 程度までの広い帯域での測定が可能となっている[2]。試料は、アモルファスおよびナノ結晶磁性体の薄帯を幅 1~2 mm、長さ 10~15 mm 程度の概長形状に切り出したものを用い、プリント基板上に接着固定したうえで両側に励磁用と磁化検出用のコイルをそれぞれ 16 ターン巻いた (Fig. 1)。交流磁場は 100 - 100 kHz の範囲で測定を行った。

Fig. 2 にアモルファス薄帯試料を 10 kHz, 500 mA (peak) で励磁した際の磁区の変化を示す。画像中の矢印は面内の磁化方向を表し、右上のプロットは磁化曲線上の対応する位置を示す。磁壁の移動により磁化が反転する様子が明瞭に観察されている。また、試料表面のキズや凹みの周辺で磁壁の運動が制限され、性能低下の原因となっていることもわかる。このほか、周波数を上げると磁区の細分化が発生する様子や、ナノ結晶薄帯では主に磁化回転によって磁化の変化が起こる様子などが観察された。

本手法は、大型の設備等の必要がなく、通常の実験室において簡便に測定が可能であり、軟磁性材料やデバイスの開発において強力な評価手法となると考えられる。

本研究は、文部科学省「革新的パワーエレクトロニクス創出基盤技術研究開発事業」および「データ創出・活用型マテリアル研究開発プロジェクト事業」の助成により行われた。

[1] Takeshi Ogasawara, *Jpn. J. Appl. Phys.* **56** 108002 (2017).

[2] Takeshi Ogasawara and Akinobu Yamaguchi, *Jpn. J. Appl. Phys.* **61** 018001 (2022).

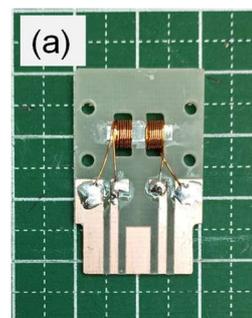


Fig. 1: Image of sample.

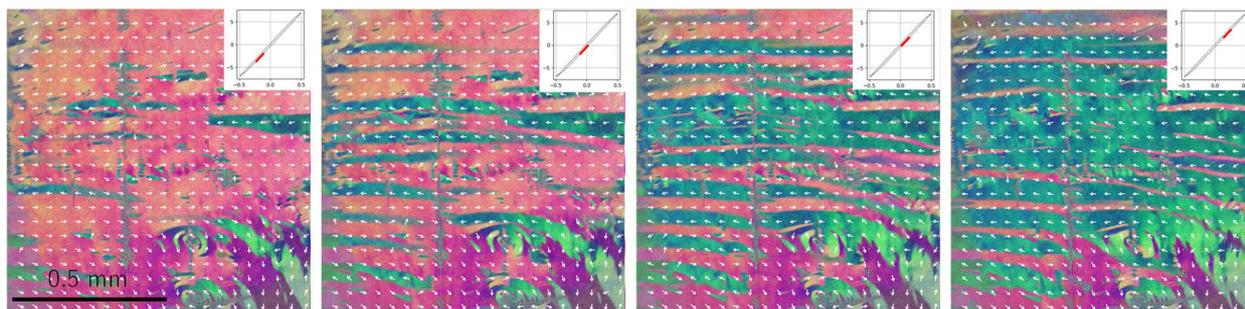


Fig. 2: Magnetic domain motion in an amorphous ribbon excited by a 10 kHz AC magnetic field.

16 bit 偏光カメラを用いた偏光角検出による磁区観察

目黒 栄、齊藤 伸
(ネオアーク株式会社、東北大)

Magnetic Domain Observation by Polarization Angle Detection Using a 16-bit Polarization Camera

Sakae Meguro, Shin Saito
(NEOARK Corp., Tohoku University)

はじめに

磁気光学 Kerr 効果を用いた磁区観察では輝度分解能の低いカメラでもコントラストの良い磁区像が得られることからクロスニコルに近い偏光子/検光子配置で観察が行われてきた¹⁾。しかしながら光の利用効率が低い、光源の光量変動の影響が大きいという難点があった。そこで我々はカメラのアナログビデオ信号を差動増幅する偏光差動方式を開発した²⁾。さらに特定の条件下では偏光差動方式の直交偏光像から偏光角検出可能なことに着目し 16 bit 輝度分解能の偏光カメラを開発し、偏光角検出による高品位磁区像の取得に成功したので報告する。

偏光カメラの原理

Fig. 1 に入射光として方位 0°の直線偏光を入射した場合の偏光子角度に対する偏光子透過光強度を示す。偏光子角度 0°、45°、90°、135°の透過光強度をそれぞれ I_0 、 I_{45} 、 I_{90} 、 I_{135} とするとストークスパラメータは $S_0 = I_0 + I_{90} = I_{45} + I_{135}$ 、 $S_1 = I_0 - I_{90}$ 、 $S_2 = I_{45} - I_{135}$ と表され、偏光角 θ は $\theta = \tan^{-1}(S_2/S_1)$ と表される。 I_{90} はほぼ 0 となるため、 $S_1 \approx I_0$ であり $S_0 = I_0 + I_{90} = I_{45} + I_{135}$ から $S_1 \approx I_{45} + I_{135}$ となる。したがって、偏光子角度 45°、135°の 2 つの偏光像から偏光角を求めることが可能である。偏光角分解能は輝度分解能 12 bit の場合 0.024°、16 bit の場合 0.0015°となる。16 bit の場合の偏光角誤差は $\pm 4^\circ$ の範囲で 1%以内となる。

実験結果

Fig. 2 に開発した 16 bit 偏光カメラの構成を示す。結像レンズの出射光を PBS で直交した偏光に分離し 2 台のカメラにそれぞれ結像させることにより直交偏光像を得る。得られた偏光像からストークスパラメータを演算し偏光角を得る。Fig. 3 に市販の偏光カメラと開発した 16 bit 偏光カメラを用いた GdFeCo 薄膜の磁区像(a)、(b)と輝度ヒストグラム(c)、(d)を示す。市販の偏光カメラは 12 bit で 2×2 画素に 0°、45°、90°、135°の偏光子を集積しており 2×2 画素単位の演算で空間分解能が低下し、12 bit 輝度分解能に起因して輝度分散が大きくなっているのに対し、開発した 16 bit 偏光カメラでは 1 画素単位で演算しており空間分解能が損なわれることなく輝度分散の小さい高品位な磁区像が得られていることがわかる。

まとめ

直交 2 方向の偏光像のみで偏光角を検出する 16 bit 偏光カメラを開発し、偏光角検出による高品位磁区像を得た。今後は曲面の磁区観察に応用する予定である。

参考文献

- 1) S. Meguro and K. Akahane, S. Saito, M. Naka, and M. Takahashi: Ann. Conf. Magn. Soc. Jpn., 24aF-9, (2004).
- 2) S. Meguro and S. Saito, Ann. Conf. Magn. Soc. Jpn., 6pc-3 (2016)

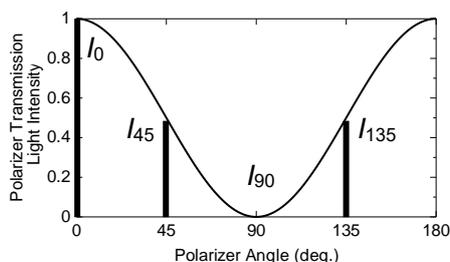


Fig.1 Relationship between polarizer angle and amount of transmitted light for 0-degree linear polarization incident light.

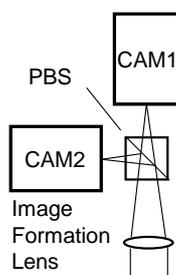


Fig.2 Schematic of 16-bit polarization camera.

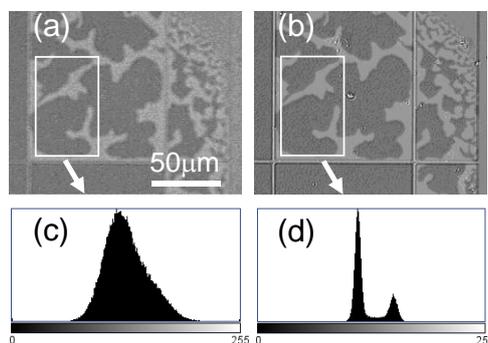


Fig.3 Magnetic domain image and brightness histogram of GdFeCo thin film by polarization camera. (a) and (b) magnetic domain images and (c) and (d) luminance histograms from a commercial polarization camera and a 16-bit polarization camera, respectively.

狭ピッチ磁壁移動型空間光変調器の開発と駆動率改善

川那真弓、東田諒、青島賢一、船橋信彦

Improvement of complete domain expansion ratio for spatial light modulator driven by current-induced domain wall motion

M. Kawana, R. Higashida, K. Aoshima, N. Funabashi

(NHK Science & Technology Research Labs.)

はじめに

広視域な電子ホログラフィーの実現に向けて、電流誘起磁壁移動と磁気光学カー効果を組み合わせた磁壁移動型空間光変調器 (SLM : Spatial Light Modulator) の研究を進めている¹⁾。これまでに、アクティブマトリクス駆動方式を用いて、10k×5k画素 (画素ピッチ : 水平 1 μm、垂直 4 μm) の光変調磁壁素子を全面駆動し、水平視域 30° のホログラフィー表示と再生像の書き換えを実現した²⁾。この SLM は、電流印加方向で磁壁の移動方向を制御できるが、一方向の磁壁駆動と磁界消去により書き換えていた。今回、ごく微小なアシスト磁界を利用することによって素子の駆動率を改善し、両方向の磁壁駆動による 2D パターン表示書き換えを実現したので報告する。

実験方法および結果

試作した SLM の模式図と磁壁光変調素子の拡大図を図 1 に示す。光変調層 (Gd-Fe) とその両端に埋め込まれた磁化固定層 (NM : Co/Pd 多層膜) で画素が構成され、2つの NM は異なる長さで設計して保磁力差を設けた¹⁾。NM1 と NM2 を反平行磁化状態にした後に、NM1 からの漏れ磁界によって光変調層の NM1 端部に初期磁区 (磁壁) を生成した。この状態で、画素選択トランジスターに電圧 (3V) 印加することで、磁壁素子へパルス電流を供給し、NM1 側の磁壁を駆動した。トランジスターの特性上、磁壁が NM1→NM2 移動する場合 (順方向) と、逆方向では供給可能な電流量が異なり、3V 印加時には NM1、NM2 側の磁壁にはそれぞれ約 1.2 mA、0.8 mA の電流が印加される。電流パルスを印加して、磁壁素子の駆動率 (1,200 画素中、初期磁壁位置から反対側の磁壁位置まで駆動した割合) を調べた結果、順方向の磁壁は電流パルス長 0.1 ms で約 80% の駆動率が得られるのに対し、逆方向は電流パルス長を 100 ms とした場合でも約 50% であった。逆方向の駆動率が低い原因は電流不足と考えられるため、NM2 側の磁壁移動をアシストする磁化方向 (磁化上向き) にごく微小な磁界を印加することを検討した。図 2 に電流パルス長 100 ms の条件でアシスト磁界を変えた場合の順方向と逆方向の駆動率を示す。アシスト磁界を増加すると、順方向の駆動率は減少するが、逆方向の駆動率は大幅に増加した。アシスト磁界を 12 Oe 印加した場合には、順方向/逆方向ともに 70% 程度の素子が駆動できた。図 3 に、上向きのアシスト磁界 12 Oe を印加しながら 80,000 画素分を電流駆動した後の偏光顕微鏡による磁気光学像を示す。順方向 (1) で“NHK” (図中白表示) が表示でき、逆方向 (2) においても“20×20 格子パターン” (黒) を表示できた。微弱なアシスト磁界を用いて駆動率を改善することで、電流誘起磁壁駆動 (両方向) による 2D パターン表示の書き換えが可能であることを確認した。

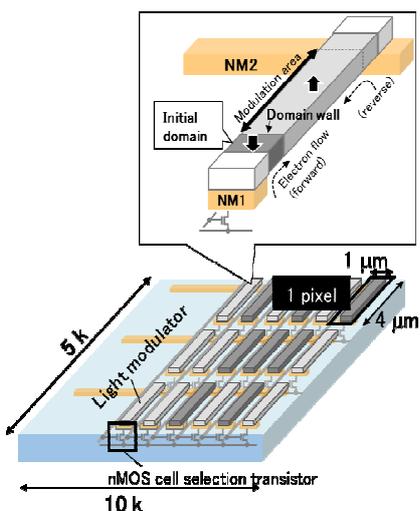


Fig. 1 MOSLM (10k x 5k) with pixel pitch of 1 μm and schematic illustration of light modulator.

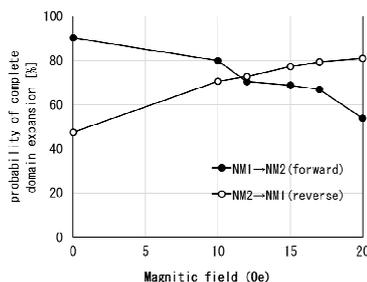


Fig. 2 Probability of complete domain expansion versus magnetic field.

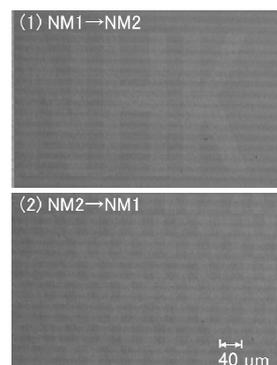


Fig. 3 Magneto-optical micrograph of the SLM device after writing data for 500 × 160 pixels.

参考文献

- 1) R. Higashida et al., Jpn. J. Appl. Phys. 59, 053001 (2020).
- 2) K. Aoshima, et al., Optics Express 31 (13), 21330-21339 (2023)

GSR センサ用磁性アモルファスワイヤの磁区構造

常藤 颯太, 竹澤 昌晃, 本蔵 義信, 本蔵 晋平
(九工大, *マグネデザイン)

Magnetic domain structure of amorphous magnetic wires for GSR sensors

S. Tsuneto, M. Takezawa, Y. Honkura*, S. Honkura*
(Kyushu Inst. Tech., *Magnedesign Co.)

はじめに

高感度マイクロ磁気センサである GSR センサのコアには、直径が $10\ \mu\text{m}$ 程度の磁性アモルファスワイヤが用いられている。GSR センサのノイズの発生原因を明らかにするためにはワイヤの磁区観察が有効であると考えられるが、直径 $10\ \mu\text{m}$ 程度の細いワイヤの磁区観察例はほとんどない²⁾。そこで本研究では、GSR センサの磁気ノイズの発生原因を解明することを目的として、直径 $10\ \mu\text{m}$ の Co-Fe 基磁性アモルファスワイヤの磁区観察を行った。

実験方法

磁性アモルファスワイヤの磁区観察は、Kerr 効果顕微鏡を用いて行った。観察面を鏡面状態にするために、エポキシ樹脂にワイヤを埋め込み研磨した。最も深く研磨した箇所での研磨深さは $2.8\ \mu\text{m}$ 程度であった。作製した試料にヘルムホルツコイルを用いて $\pm 15\ \text{Oe}$ の外部磁界を印加した際の、ワイヤ研磨断面の磁区構造の変化を観察した。

実験結果

Fig. 1 に研磨深さ $1.7\ \mu\text{m}$ の視野において、外部磁界を印加した際の磁区観察結果を示す。図中で明暗の磁区コントラストはワイヤ半径方向の磁化成分を示している。残留磁化状態において半径方向に交互に磁化するバンブー状の磁区構造が確認できる。このバンブー状磁区構造は、正方向に磁界を印加すると消失して磁気飽和に至る。負方向に磁界を印加すると、 $-6\ \text{Oe}$ から $-12\ \text{Oe}$ の間で不規則で急激な磁区模様の変化が起こっていることが確認できる。

Fig. 2 は研磨深さ $2.8\ \mu\text{m}$ の視野における磁区観察結果である。残留磁化状態ではワイヤ半径方向の一方向に磁化しており、バンブー状磁区構造は確認できない。負方向に磁界を印加すると、 $-5\ \text{Oe}$ から $-6\ \text{Oe}$ にかけて磁区コントラストが反転していることが確認できる。

これらの低磁場における急激な磁化の変化が、GSR センサに発生する磁気ノイズの原因の一つだと考えられる。今後は、ワイヤに電流を通電した状態での磁区構造変化の観察を行うことで、GSR センサ駆動時のワイヤの磁化過程の知見を得る必要がある。

参考文献

- 1) Y. Honkura, and S. Honkura, *J. Magn. Magn. Mater.*, **513**, 167240 (2020)..
- 2) K. Richter, O. Vahovsky, and R. Varga, *IEEE Trans. Magn.*, **58**(2), #6500505 (2022)..

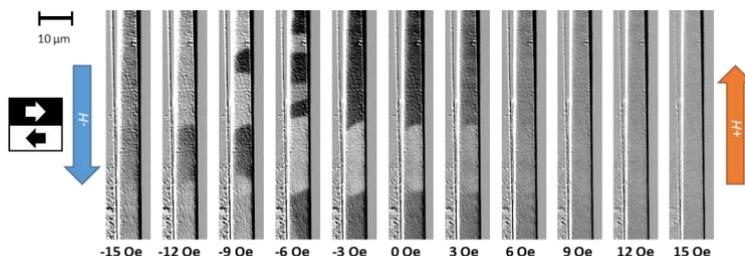


Fig.1 Magnetic domain images at polishing depth of $1.7\ \mu\text{m}$.

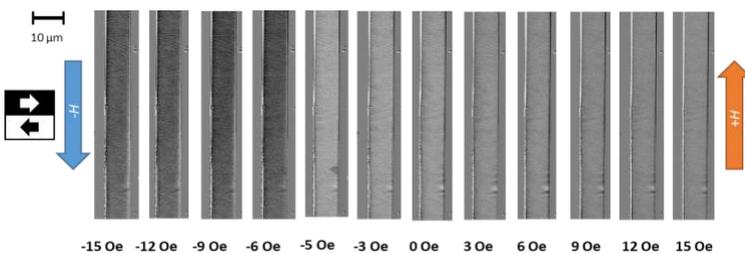


Fig.2 Magnetic domain images at polishing depth of $2.8\ \mu\text{m}$.